



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Farklı Eğim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi

Hüseyin PARMAKSIZ<sup>a,\*</sup>, Akif KARAFİL<sup>b</sup>, Harun ÖZBAY<sup>b</sup>, Metin KESLER<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Müh. Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Enerji Bölümü, Bilecik Meslek Y. O., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

<sup>d</sup> Bilgisayar Müh. Bölümü, Mühendislik Fak., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: huseyin.parmaksiz@bilecik.edu.tr

### ÖZET

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için fotovoltaik (FV) paneller kullanılmaktadır. FV panellerden elde edilen enerji, panellerin kurulduğu coğrafi konuma, mevsimsel değişimlere ve çevre koşullarına göre sürekli olarak değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla FV panellerden maksimum güç elde edilmesi amacıyla panellerin optimum eğim açısının aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değiştirilmesi gerekir. Bu çalışmada, farklı açılarda yerleştirilen FV paneller ile Bilecik ilinde güneş enerjisinden elde edilecek maksimum gücün hangi eğim açılarında gerçekleştiğinin tespiti için verilerin toplanması, kayıt altına alınması ve analiz çalışmaları Raspberry Pi (RPi) üzerine kurulu web sunucu aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda FV panellerin gerilimleri gün boyunca ölçülmektedir. Ölçülen veriler analog-dijital dönüştürücü (mikrodenetleyici) ile sayısal bilgiye çevrilmiştir. RPi ile sayısal bilgilerin her 10 dakikada bir ortalaması alınarak kendi hafıza ortamında saklama işlemi gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda RPi'ye kurulan Linux temelli Raspbian işletim sisteminde oluşturulan betik yardımıyla ve web ara yüzünden aynalama işlemi yapılarak verilerin bilgisayar ortamına kaydedilmesi ile yedekleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Farklı eğim açılarındaki FV panellerden elde edilen elektriksel ölçümler RPi üzerine kurulu web sunucu aracılığıyla günün her saatinde canlı olarak izlenebilmektedir. Ayrıca elektriksel veriler aylık ve yıllık olarak tarih ve zaman bilgileri ile kayıt altına alınmaktadır. Geliştirilen sistemin kullanıcı ara yüzüne <http://solar.bilecik.edu.tr> adresinden ulaşılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Raspberry Pi, Mikrodenetleyici, Eğim açısı, Fotovoltaik

## The Monitoring of Photovoltaic Panels Electrical Measurements at Different Tilt Angles By Raspberry Pi

### ABSTRACT

Photovoltaic panels (PV) are used to extract electric energy from solar energy. The energy varies constantly depending on geographic position of the panels, seasonal changes and ambient conditions. Therefore, the optimum tilt angle of the panels must be adjusted daily, monthly and annual to extract maximum power from PV panels. This paper presents the collection, analyses and storage of the electrical data by a web server working on Raspberry Pi (RPi) to determine at which tilt angles maximum power is extracted from PV panels at different

angles in Bilecik city. The voltage of the PV panels is measured daily. The data is converted to digital data by an analog-digital converter (microprocessor). The mean of the digital data is obtained in every 10 minutes and stored in its own memory by RPi. Moreover, the data is stored in computer environment by script developed on Linux based Raspbian operating system working on RPi and by data base mirroring process on web interface. The electrical measurements of the PV panels at different tilt angles can be watched live by a web-based system working on RPi during the day. The user interface of the system can be accessed from <http://solar.bilecik.edu.tr> web address.

*Keywords: Raspberry Pi, Microcontroller, Tilt angle, Photovoltaic*

## I. GİRİŞ

**G**ÜNÜMÜZDE elektrik enerjisinin büyük bir kısmı fosil kökenli kaynaklardan sağlanmaktadır. Fakat fosil kökenli yakıtların kullanımının uzun dönemde insanlık için iki açıdan tehdit oluşturacağı öngörülmektedir. Birincisi, sınırlı rezervlere sahip özellikle petrol ve doğal gaz gibi yakıtların azalmasına bağlı olarak artan maliyetler ve bunun sonucunda ortaya çıkan sosyal ve ekonomik etkilerin büyüklüğüdür. İkincisi ise fosil kökenli yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan zararlı emisyonlar ve sera gazlarının çevre üzerindeki olumsuz etkileridir. Elektrik enerjisinin üretiminde verim, maliyet ve kaynağın yaygın olarak bulunması gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre öne çıkmaktadır. Özellikle güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarının ana kaynağı olmasının yanı sıra temiz, sessiz, ekonomik, güvenilir ve tükenmez bir enerji kaynağı olmasından dolayı son dönemdeki teşvik ve yatırımlarla daha da önemli hale gelmiştir [1-3].

Güneş enerjili sistemlerde elektrik enerjisi FV paneller ile üretilmektedir. Fakat FV panellerin verimliliği düşüktür. Ayrıca FV panellerden elde edilecek elektrik enerjisi çevre koşullarına göre sürekli olarak değişmektedir. Güneşten alınan enerjinin FV panel çıkışına iletilmesi esnasında meydana gelen kayıplar sıcaklık, gölgeleme, ışık açısı, hücre vb. kayıplardır. Bu kayıplardan bir kısmı iyileştirilebilse de (örneğin panel açısı) panel özelliğine bağlı olan kayıplar değiştirilemez [4]. Bu doğrultuda FV panellerinden maksimum çıkış alabilmek için tek ve çift eksenli güneş takip sistemi kullanılarak veya optimum sabit eğim açısı ile yerleştirilen panellerle, güneş ışığından maksimum derecede faydalanabilmektedir. Güneş takip sistemi, gün içerisinde güneşi takip eden mekanik izleyici bir sistemdir. Bu sistemde daha fazla enerji üretilmesine rağmen sistem içerisinde yer alan motor, sürücü vb. elemanların sürekli olarak enerji tüketmelerinin yanı sıra sistem karmaşıklığı ve maliyetin artması sistemin dezavantajlarıdır [5]. Sabit eğim açılı sistemlerde, paneller yatayla zemine belirli bir eğim açısında yerleştirilir. Bu açı değeri, panellerin kurulduğu yerin coğrafi konumuna göre değişim göstermektedir. Ayrıca güneşten gelen ışınım şiddeti mevsimsel olarak değiştiğinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı da değişmektedir. Bu yüzden panellerin maksimum seviyede güneş ışınımını alabilmesi için aylara ve mevsimlere göre optimum eğim açısında yerleştirilmesi gerekir [6,7].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Aydın ve arkadaşları FV sistemlerin gerçek çalışma şartları altındaki performanslarını ölçmek için özgün bir veri izleme ve kayıt kartı (DAQ) tasarımı yaparak imal etmişlerdir [8]. Kesler ve arkadaşları Antalya'nın Manavgat ilçesi için mevsimsel değişikliklere bağlı olarak potansiyel güneş enerjisini ölçmüşlerdir. Bölgedeki potansiyel güneş enerjisini değerlendirmek için iki eksenli sistem ile sabit açılı sistemin ince film ve mono kristal panelleri üzerindeki karşılaştırılmaları yapılmıştır [9]. Kavadias ve arkadaşları şebekeden bağımsız FV

sistemden maksimum güç alabilmek için optimum eğim açısını incelemişlerdir. Ölçümler, güneş potansiyelinin minimum olduğu kış ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir [10]. Asowata ve arkadaşları matematiksel modellerden ve simülasyonlardan elde edilmiş mevcut eğim açılarının kullanımına göre FV panelin çıkış gücünün maksimum yapılmasını incelemişlerdir. Sonuçlar dört aylık sürede gerçekleştirilmiştir [11]. Rouholamini ve arkadaşları çalışmalarında değişik eğim açılarında yerleştirilen FV panellerin toplam güneş ışınımını ölçmek ve çıkış enerjisini hesaplamak için matematiksel model kullanmışlardır [12].

Yapılan bu çalışmada ise farklı eğim açılarında yerleştirilen her bir FV panelin gerilim değerleri gün boyunca ölçülmüştür. Ölçülen analog veriler mikrodenetleyici ile sayısal verilere dönüştürülmüştür. Daha sonra RPi ile sayısal verilerin her 10 dakikada bir ortalaması alınarak RPi üzerindeki SD kartta saklama işlemi gerçekleştirilmiştir. RPi ortamındaki verilerin MySQL veri tabanında kayıt altına alınmasıyla sonraki dönemlerde kayıtlı veriler ile farklı çalışmaların yapılmasına olanak sağlanmıştır. Aynı zamanda RPi'ye kurulan Linux temelli Raspbian işletim sisteminde oluşturulan betik yardımıyla ve web ara yüzünden aynalama işlemi yapılarak verilerin bilgisayar ortamına kaydedilmesi ile yedekleme işlemi de gerçekleştirilmektedir. Bu sayede veriler düzenli bir şekilde bilgisayara aktarılmaktadır. Her bir FV panelden elde edilen gerilim, akım ve güç gibi elektriksel verilerin toplanması, kayıt altına alınması ve analiz çalışmaları RPi üzerine kurulu web sunucu aracılığı ile günün her saatinde canlı olarak izlenebilmektedir. Gerçek zamanlı ölçüm ve analizlerin yapılması FV panellerde yaşanacak arızalara zamanında müdahale edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda RPi'nin enerjisi kesildiğinde veya internet bağlantısı problemleri yaşandığında otomatik bir mail sistemi ile ilgili kişiler bilgilendirilmektedir. Bu da yaşanacak problemlerin çok kısa sürede fark edilerek müdahale edilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen FV sistem kullanıcı ara yüzüne <http://solar.bilecik.edu.tr> adresinden ulaşılabilir.

## II. YÖNTEM

### *A. TASARLANAN FV SİSTEMİNİN YAPISI*

Sabit eğim açılı sistemlerde panellerin yatay zeminle eğim açısı yapacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Sistem için aynı özelliklere sahip altı adet panel farklı eğim açılarında yerleştirilerek panellerin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de farklı eğim açılarındaki FV panellerin kurulumu gösterilmektedir.



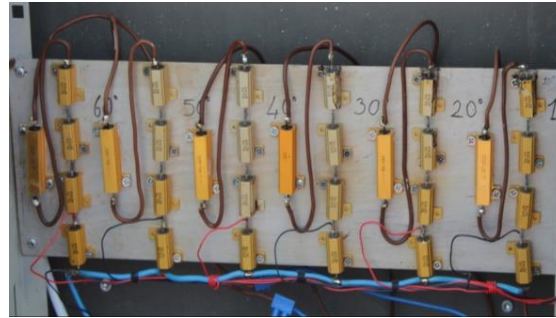
*Şekil 1. Farklı eğim açılarındaki FV panellerin kurulumu*

Kurulumu gerçekleştirilen her bir FV panel Perlight marka PLM-100P/12 model olup polikristal yapıya sahiptir. Kullanılan FV panelin elektriksel parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

*Tablo 1. FV panelin elektriksel parametreleri*

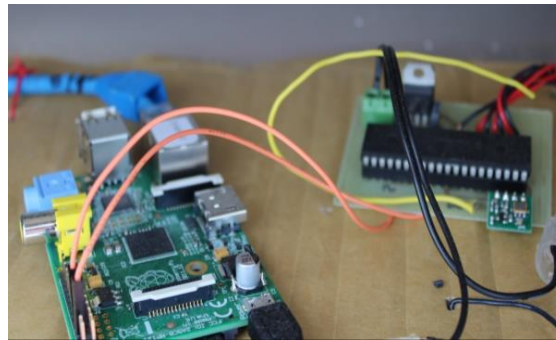
<b>FV Panelin Elektriksel Özellikleri</b>	<b>Sayısal Değerler</b>
Maksimum panel gücü ( $P_{max}$ )	100 W
Maksimum gerilimi ( $V_{mpp}$ )	17.7 V
Maksimum akımı ( $I_{mpp}$ )	5.65 A
Açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ )	22 V
Kısa devre akımı ( $I_{sc}$ )	6.21 A

Sistem tasarımında kurulumu gerçekleştirilen her bir FV panele 14  $\Omega$  yük direnci bağlanmıştır. 1  $\Omega$  yük dirençleri üzerinden alınan gerilim verileri PIC 16F877 mikrodnetleyicinin 6 adet analog sinyal girişlerine bağlanmıştır. 1  $\Omega$  yük dirençleri üzerinden alınan analog gerilim verileri mikrodnetleyicinin sınır değerini geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Şekil 2’de her bir FV paneline bağlanan yükler gösterilmektedir.



*Şekil 2. Her bir FV paneline bağlanan yükler*

FV panellerden alınan analog gerilim verileri mikrodnetleyici ile sayısal verilere dönüştürülmektedir. Şekil 3’de mikrodnetleyici ve RPi’nin bağlantı şeması gösterilmektedir.

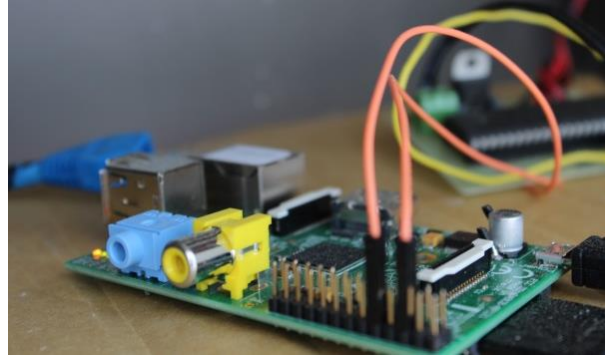


*Şekil 3. Mikrodnetleyici ve RPi’nin bağlantı şeması*

Elde edilen bu sayısal verilerin ortalaması RPi ile her 10 dakikada bir alınıp veriler RPi üzerindeki SD kartta saklanmaktadır.

### B. SİSTEMDE KULLANILAN RASPBERRY Pİ VE ÖZELLİKLERİ

Bir kredi kartı büyüklüğünde olan RPi, okullarda temel bilgisayar bilimlerini öğretmek amacıyla Raspberry Pi şirketi tarafından İngiltere’de geliştirilmiştir. Geliştirilen RPi, mini bilgisayar olarak ifade edilmektedir [13]. Deneysel çalışmada kullanılan RPi’nin özellikleri şunlardır; ARM1176JZF-S 700 MHz merkezi işlem birimini içeren Broadcom BCM2835 mikroçipi üzerine kurulmuştur. VideoCore IV GPU grafik işlem birimine sahip olup 512 megabayt belleğe sahiptir. 2 USB (Universal Seri Bus) bağlantı noktası, 26 GPIO pinleri, HDMI (High Definition Multimedia Interface) bağlantı noktası, Ethernet portu, 3,5 mm ses jakı, kamera ara yüzü (CSI), görüntü ara birimi (DSI), microSD (Secure Digital) hafıza kart yuvasına sahiptir. Şekil 4’te deneysel çalışmada kullanılan RPi kartı gösterilmektedir.

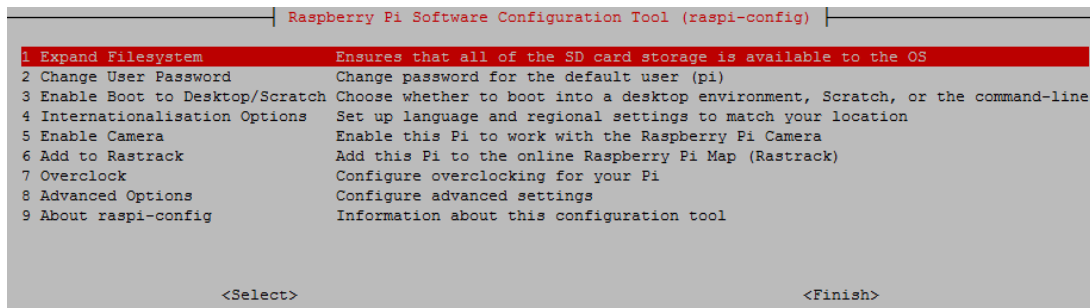


Şekil 4. Deneysel çalışmada kullanılan RPi kartı

RPi, Python programlama dili ile programlanabildiği gibi BBC Basic, C ve Perl programlama dilleri ile de programlanabilmektedir.

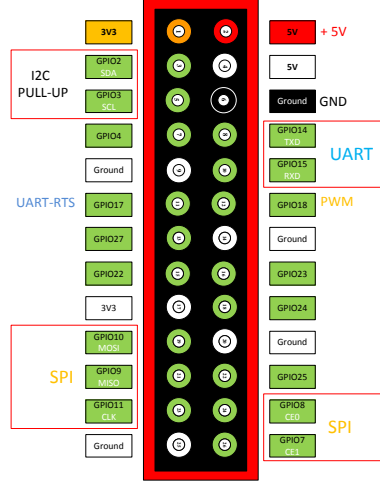
## III. BULGULAR ve TARTIŞMA

RPi üzerine takılan SD karta linux tabanlı Raspbian işletim sistemi kurulur. Raspbian işletim sisteminde RPi’nin konfigürasyonlarının yapıldığı bir araç mevcuttur. Bu araç ile ihtiyaca uygun birtakım parametrelerin düzenlenmesi sağlanır. Bu parametrelerden bazıları şunlardır; dosya sisteminin genişletilmesi, kullanıcı şifresinin düzenlenmesi, grafiksel ara yüzün aktif edilip edilmeyeceği, zaman ayarları, overclock ve gelişmiş ayarlardır. Şekil 5’de RPi konfigürasyon aracının gösterildiği ekran görüntüsü verilmiştir.



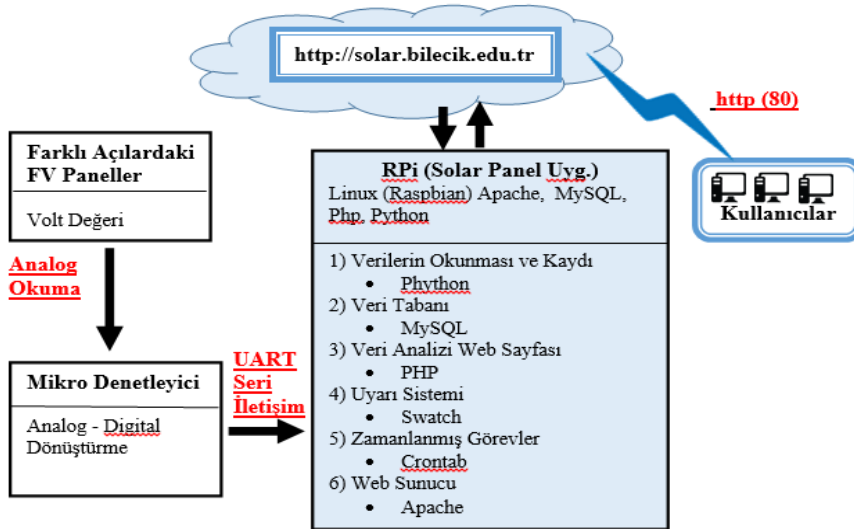
Şekil 5. RPi konfigürasyon aracının ekran görüntüsü

RPi sistem konfigürasyonu tamamlandıktan sonra verilerin okunması işlemi için Python programlama diline, kayıt altına alınması için MySQL ilişkisel veri tabanına, kullanıcı tarafından canlı olarak izlenebilmesi için PHP betik diline ve hata bilgilendirilmesi için Swatch uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mikrodenetleyici tarafından FV panellerden elde edilen analog gerilim değerleri dijital verilere dönüştürülmektedir. Veriler mikrodenetleyicinin seri iletişim alıcı-verici pinleri ve RPi'nin GPIO14 (TXD) ve GPIO15 (RXD) seri iletişim alıcı-verici pinleri arasında bağlantı yapılarak okunur. Şekil 6'da RPi'nin pin bağlantı şeması gösterilmektedir.



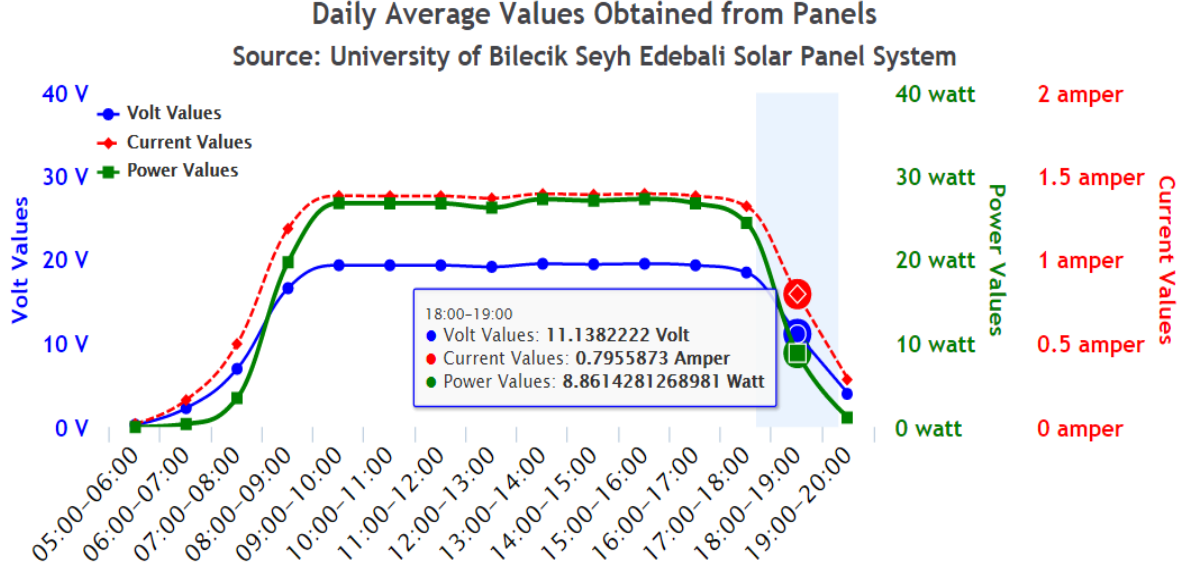
Şekil 6. RPi'nin pin bağlantı şeması

RPi'ye ait UART seri iletişim protokolü kullanılarak Python üzerinde yazılan kod vasıtasıyla okunan verilerin MySQL veri tabanına kaydedilme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kaydedilen verilerin kontrol edilmesi ve düzenlenmesi işlemi için phpMyAdmin kullanılmaktadır. Verilerin analiz edilerek kullanıcı tarafından canlı olarak izlenebilmesi için PHP betik dili kullanılarak grafikler oluşturulmaktadır. RPi'nin ağ sisteminde canlı olup olmadığının kontrolü Swatch ile gerçekleştirilmektedir. Swatch, RPi'nin enerjisi kesildiğinde veya internet bağlantısı problemleri yaşandığında mail atarak sistem sorumlularını bilgilendirmektedir. Şekil 7'de sistemin tümüne ait bileşenlerin blok şeması gösterilmiştir.



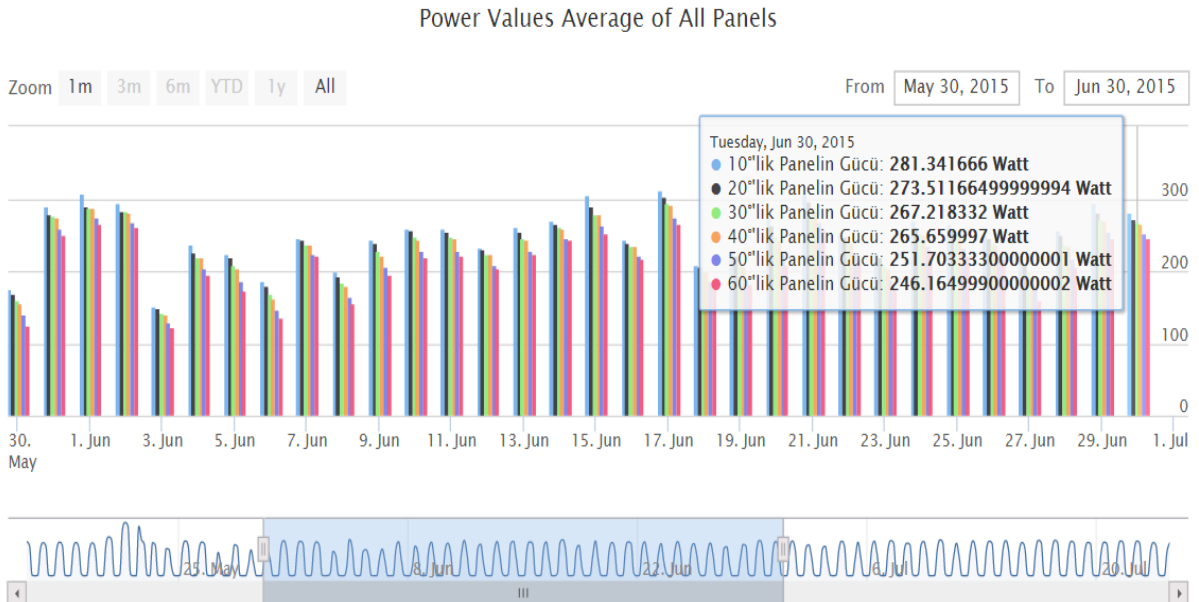
Şekil 7. Sisteme ait bileşenlerin blok şeması

Sistemde sadece FV panellerin gerilim verileri ölçülmektedir. FV panellerin akım ve güç değerleri Python programlama dili ile yazılan algoritma vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Veriler gün boyunca 10'ar dakikalık aralıklarla alınmaktadır. Panellerden alınan akım, gerilim ve güç değerleri Şekil 8'de görüldüğü gibi web ortamında izlenebilmektedir.



Şekil 8. Panellerden alınan değerler

Aynı zamanda kayıt altına alınan veriler uzun süreli aylık/yıllık olarak tarih ve zaman bilgileri ile birlikte izlenebilmektedir. Her bir FV panel 100 W çıkış gücü verebilmesine rağmen sıcaklık durumu göz önünde bulundurulduğundan panellere bağlanan 14  $\Omega$  yük direnci nedeniyle paneller maksimum 28 W güç üretebilmektedir. Şekil 9'da Haziran ayına ait FV panellerin güç grafiği gösterilmektedir.



Şekil 9. Haziran ayına ait FV panellerin gücü

## IV. SONUÇ

Sistem bileşenlerinin entegrasyonunun tamamlanması sonrasında PHP betik dili kullanılarak hazırlanan web ara yüzünde, değişik açılarda FV panellere ait ölçülen değerlerin günlük ve aylık olarak detaylı bir şekilde grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerde değişik açılardaki FV panellerin akım, gerilim ve güç değerleri karşılaştırılmıştır. Grafikler vasıtasıyla bölgede hangi zaman dilimleri arasında hangi eğim açılarında ne kadarlık güç sağlandığı görülmektedir. RPi ile gerçekleştirilen uygulamanın sistem açısından avantajları az yer kaplaması, maliyetinin düşük ve kullanımının kolay olmasıdır. RPi üzerine kurulan Linux tabanlı Raspbian işletim sistemi sayesinde herhangi bir bilgisayar kasasına ya da kasayı barındıracak bir ofise ihtiyaç duyulmamaktadır. RPi tek başına verilerin okunması, kendi üzerinde bulunan SD karta depolanması, analiz ve web sayfasında sunulması işlemlerini gerçekleştirmektedir. Kurulan sistem ve geliştirilen uygulamalar ile FV panellerden alınan verilerin MySQL veri tabanına kaydedilmesiyle veriler üzerinde veri madenciliği, akıllı algoritmalar ile kestirim gibi farklı çalışmalara olanak sağlanmıştır.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2014-01.BİL.03-02).

## V. KAYNAKLAR

- [1] A. N. A. Ali, M. H. Saied, M. Z. Mostafa, T. M. Abdel-Moneim (2012) **DOI: 10.1109/EnergyTech.2012.6304652.**
- [2] M. A. G. De Brito, L. Galotto, L. P. Sampaio, G. de Azevedo e Melo, C. A. Canesin (2013) **DOI: 10.1109/TIE.2012.2198036.**
- [3] M. Demirtaş *Politeknik Dergisi*, 9(4) (2006) 247.
- [4] K. Kurokawa (1998) **DOI: 10.1016/S0960-1481(98)00144-X.**
- [5] A. Şenpınar, M. Cebeci (2012) **DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.07.043.**
- [6] J. Kaldellis, D. Zafirakis (2012) **DOI: 10.1016/j.energy.2011.11.058.**
- [7] M. Kacira, M. Simsek, Y. Babur, S. Demirkol (2004) **DOI: 10.1016/j.renene.2003.12.014.**
- [8] M. Aydın, M. H. Süzer, B. Yeşilata, *Fotovoltaik Sistemlerde Anlık Çalışma Koşullarının Ölçümü İçin Özgün Bir Veri (DAQ) Kartı Tasarımı*, **3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi**, Mersin-Türkiye, (2005).
- [9] S. Kesler, S. Kivrak, F. Dincer, S. Rustemli, M. Karaaslan, E. Unal, U. Erdiven (2014) **DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.027.**
- [10] K. A. Kavadis, C. Gitersos, D. Zafirakis, J. K. Kaldellis, *Optimum photovoltaic angle estimation for stand-alone installations of South Europe on the basis of experimental measurements*, **2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)**, Ischia-İtalya, (2011) 111.
- [11] O. Asowata, J. Swart, C. Pienaar, *Optimum tilt and orientation angles for photovoltaic panels in the Vaal triangle*, **2012 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)**, Şangay-Çin, (2012) 1.
- [12] A. Rouholamini, H. Pourgharibshahi, R. Fadaeinedjad, G. Moschopoulos, *Optimal tilt angle determination of photovoltaic panels and comparing of their mathematical model predictions to experimental data in Kerman*, **Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2013 26th Annual IEEE Canadian Conference on**, Regina, SK-Kanada, (2013) 1.
- [13] S. Jain, A. Vaibhav, L. Goyal, *Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail*, **Optimization, Reliability, and Information Technology (ICROIT), 2014 International Conference on**, Faridabad-Hindistan, (2014) 277.